

Д.В.ДАНИЛОВ, студент, НТУ «ХПИ»;

А.Г.АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЗОК ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ТОРМОЖЕНИЯ

Рассмотрено НДС колесной пары вагона под влиянием температурных нагрузок, возникающих при экстренном и длительном режимах торможения, средствами ПК ANSYS.

Ключевые слова: колесная пара, цельнокатаное колесо, ось, напряжения, перемещения, деформации, контактное давление.

Вступление. Колесные пары относятся к ходовым частям и являются одним из ответственных элементов вагона. Они предназначены для направления движения вагона по рельсовому пути и восприятия всех нагрузок, передающихся от вагона на рельсы при их вращении. Колесные пары, воспринимающие статическую и динамическую нагрузку, обеспечивают непосредственный контакт экипажа и пути и направляют подвижной состав в рельсовой колее, через них передается на рельсы нагрузка от вагона, а колесные пары жестко воспринимают все толчки и удары от неровностей пути.

Работая в современных режимах эксплуатации железных дорог и экстремальных условиях окружающей среды, колесная пара вагона должна удовлетворять следующим основным требованиям: обладать достаточной прочностью, имея при этом минимальную необрессоренную массу (с целью снижения тары подвижного состава и уменьшения непосредственного воздействия на рельсовый путь и элементы вагона при прохождении неровностей рельсовой колее); обладать некоторой упругостью, обеспечивающей снижение уровня шума и смягчение толчков, возникающих при движении вагона по рельсовому пути; совместно с буксовыми узлами обеспечивать возможно меньшее сопротивление при движении вагона и возможно большее сопротивление износу элементов, подвергающихся изнашиванию в эксплуатации.

Постановка задачи. В рамках проведенных исследований было изучено НДС колесной пары под влиянием температурных нагрузок возникающих как при экстренном торможении до полной остановки, так и при продолжительном торможении на затяжном спуске.

Для расчета температур в ситуации экстренного торможения условно принимаем, что вся кинетическая энергия в результате торможения перехо-

© Д. В. Данилов, А. Г. Андреев, 2013

дит в энергию нагрева обода колеса и колодки. Удельный тепловой поток (внешняя тепловая нагрузка для расчета температур), возникающий на ободу колеса при торможении, определяется

$$Q = \frac{K}{8t \times S_{\text{обода}}} n, \quad (1)$$

где K – кинетическая энергия вагона, переходящая в нагрев обода колеса, $K = MV^2/2$; t – время торможения; $S_{\text{обода}}$ – площадь поверхности обода колеса; n – коэффициент распределения теплового потока между ободом и колодкой,

$$n = \frac{S_{\text{обода}}}{S_{\text{обода}} + 3S_{\text{кол}}}; S_{\text{кол}} - \text{площадь колодки.}$$

Тепловой поток на колесе в процессе экстренного торможения определялся для груженого вагона массой 80 т, движущегося перед торможением со скоростью 120 км/час до полной остановки через 60 секунд. При расчетах торможения композиционными колодками принимается, что 95 % тепла, выделяющегося при трении, поступает в колесо, поэтому в формуле (1) значение коэффициента n принимаем 0,95. До торможения колесная пара находился в стационарном режиме теплового состояния, температура воздуха 25 °С.

Значение теплового потока на обод колеса ($Q = 174000 \text{ Вт/м}^2$) при длительном торможении продолжительностью 1200 секунд принималось согласно работе В. Г. Иноземцева [1], в которой определено это значение.

На рис. 1, 2 и в табл. 1 представлены геометрические характеристики составных частей колесной пары РУ1Ш-950.

Ниже на рис. 3 приведена твердотельная модель расчетной конструкции, смоделированная средствами ПК ANSYS. С помощью условных обозначений показаны граничные условия и условия нагружения.

Свойства материалов деталей были выбраны в соответствии с регламентируемой в ГОСТах приоритетной маркой стали для такого типа конструкций – Сталь 90. При проектировании данной задачи в ПК ANSYS была учтена зависимость свойств материала от значения температуры исследуемой детали (рис. 4-6).

Температура окружающей среды и начальная температура конструкции была принята равной 25 °С.

Коэффициент теплоотдачи был выбран для разницы между температурой тела и температурой окружающей среды $\Delta t = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ и длинной исследуемой детали $l = 0,5 \text{ м}$ исходя из экспериментальных данных (рис. 7). Таким образом он равен $h = 1,8 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{град}$.

Величина удельного теплового потока излучаемого при теплоотдачи конвекцией не является величиной постоянной; это функция разности температур тела и окружающей среды. Согласно закону Ньютона, теплопередача конвекцией описывается следующей формулой:

$$q'' = q / A = h (T_S - T_B), \quad (2)$$

Technical drawing of a stepped shaft. The shaft has a total length of L_1 and a minimum diameter of $\varnothing_{\min} = 200$. It features three steps with diameters d_1 , d_2 , and d_3 , and lengths l_1 , l_2 , and l_3 . The distance between the first and second steps is L_2 , and the distance between the second and third steps is L_3 . The shaft is supported by a bearing with a diameter of $\varnothing 95 - 1$ and a width of 31 ± 0.34 . The bearing is mounted on a shaft with a diameter of $M110 \pm 4$. The bearing has a width of 10 and a height of 8 ± 1 . The shaft has a fillet radius of $R20$ at the transition between the steps.

[illegible]

Таблица 1 – Основные размеры вагонной оси РУ1Ш

Параметр	d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3	L_1	L_2	L_3
Номинальный размер, мм	130	165	194	165	176	76	265	2294	2038	1836
Допуск, мм	+0,052 +0,025	+0,2 +0,12	+6 -0,5	+5	+1 -0,5	+1 -1	-	+1 +3	-	+1 -1

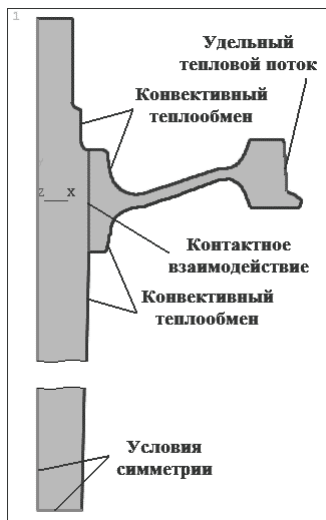


Рисунок 3 – Твёрдотельная модель расчетной конструкции

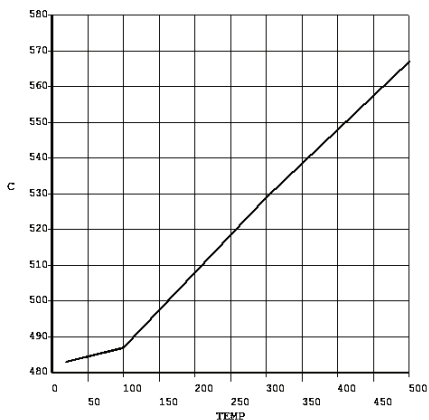


Рисунок 4 – Удельная теплоемкость

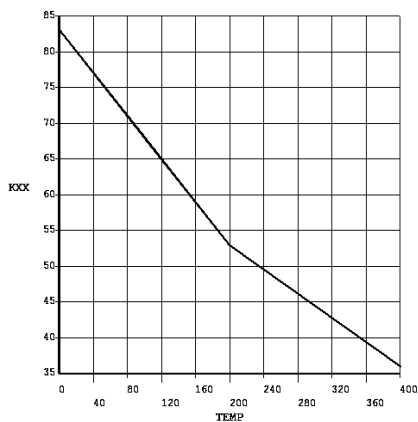


Рисунок 5 – Теплопроводность

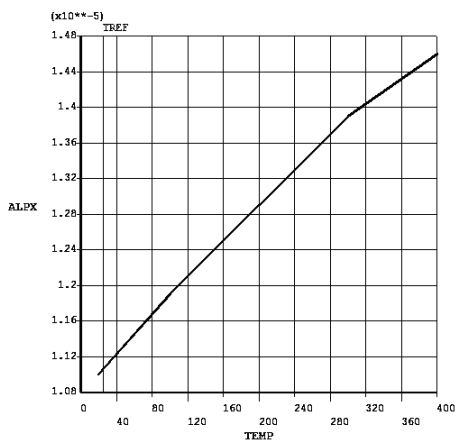


Рисунок 6 – Коэффициент теплового расширения

Полученные результаты и их анализ. В ходе анализа было проведено два расчета, соответствующих различным режимам торможения: длительное (1200 с.) торможение грузового вагона на продолжительных спусках и экстренное (60 с.) торможение до полной остановки.

Далее рассмотрим и проанализируем результаты соответствующие длительному торможению грузового вагона.

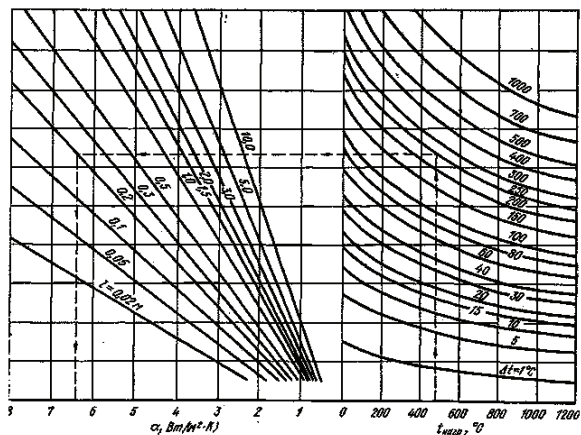


Рисунок 7 – Коэффициент теплоотдачи конвекцией при свободном движении воздуха

Исходя из логических соображений, по виду нагружения можно сказать, что максимальные значения характеристик НДС колесной пары следует ожидать в момент времени $t = 1200$ с., тогда как минимальные характеристики НДС, практически соответствующие статическому положению колесной пары, будут наблюдаться в момент времени $t = 0,5$ с. (время конца первого подшага расчета). Ниже представлено сопоставление характеристик НДС, которые соответствуют этим моментам времени: суммарные перемещения, температура, эквивалентные напряжения, контактное давление. В виду сильного качественного изменения характера распределения контактного давления, эта характеристика НДС помимо указанных моментов времени показана также в промежуточные моменты времени: 300, 600, 900 с. Это сделано с целью наглядной анимации поведения данной характеристики во времени.

На основании этих данных можно сделать вывод о том, что при длительном торможении грузового вагона в результате нагрева колеса максимальная температура была ожидаемо достигнута на поверхности катания и составила $564,43$ °С, максимальные суммарные перемещения – $6,094$ мм, максимальные эквивалентные напряжения – 1220 МПа, максимальное контактное давление между колесом и осью – $65,7$ МПа. Достаточно незначительное снижение максимального контактного давления может ввести в заблуждение касательно предположения о том, что температурная нагрузка, возникающая при длительном торможении, оказывает малое влияние на прочность соединения с натягом между колесом и осью. Однако на самом деле происходит абсолютно противоположный эффект – сильное понижение надежности соединения с натягом. Этот эффект обусловлен не количественным изменением максимального значения контактного давления, а качественным перераспределением контактного давления по всей зоне натяга. Наглядно демонстрируют этот эффект рис. 18-22.

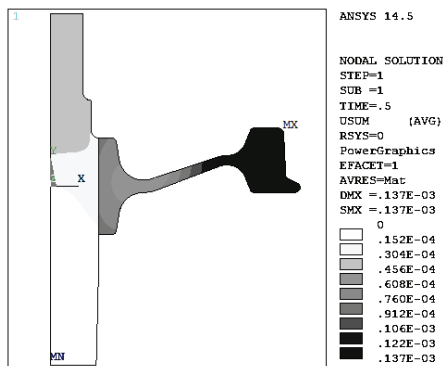


Рисунок 8 – Суммарные перемещения при $t = 0,5$ с.

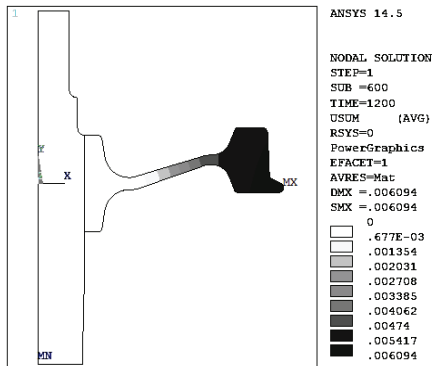


Рисунок 9 – Суммарные перемещения при $t = 1200$ с.

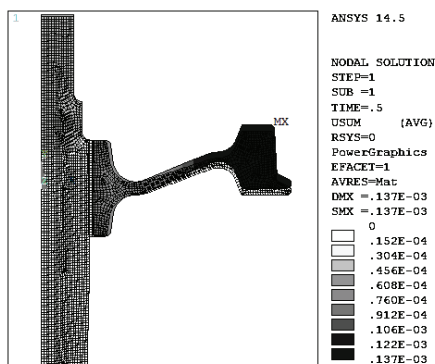


Рисунок 10 – Форма деформирования при $t = 0,5$ с.

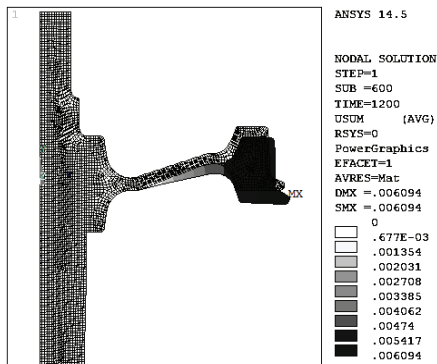


Рисунок 11 – Форма деформирования при $t = 1200$ с.

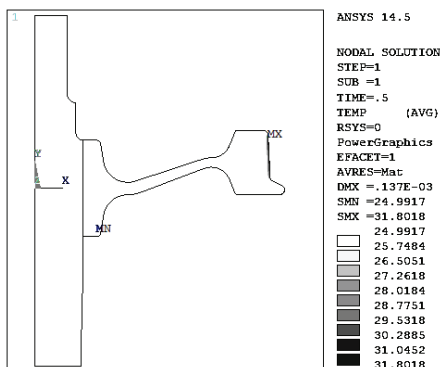


Рисунок 12 – Температурное поле при $t = 0,5$ с.

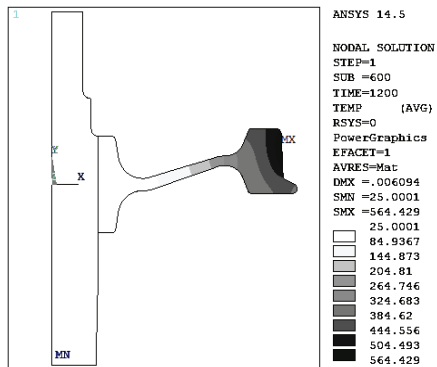


Рисунок 13 – Температурное поле при $t = 1200$ с.

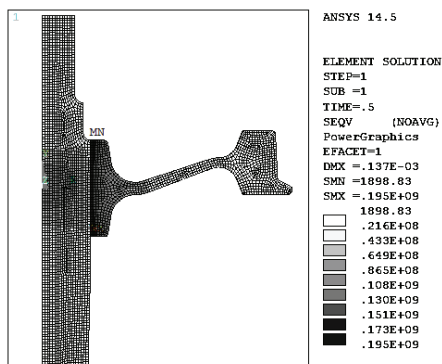


Рисунок 14 – Эквивалентные напряжения при $t = 0,5$ с.

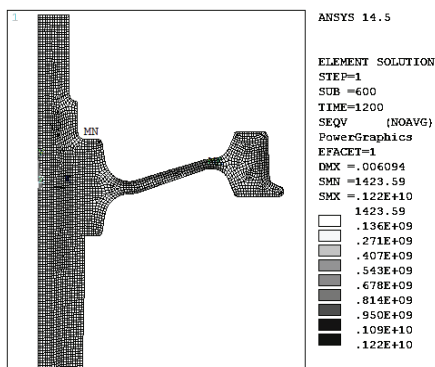


Рисунок 15 – Эквивалентные напряжения при $t = 1200$ с.

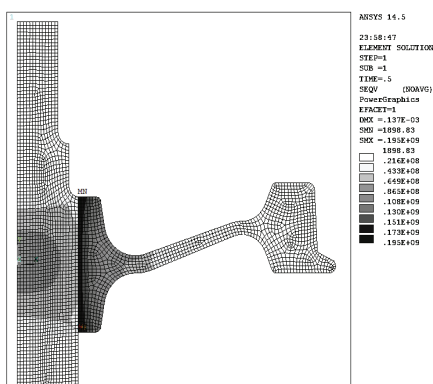


Рисунок 16 – Эквивалентные напряжения при $t = 0,5$ с.

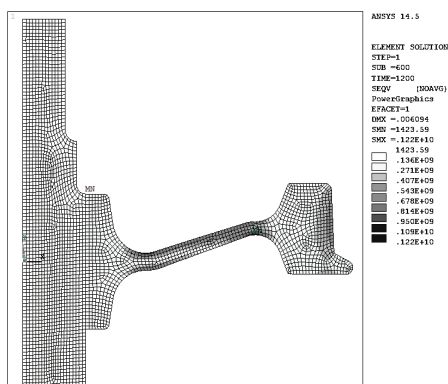


Рисунок 17 – Эквивалентные напряжения при $t = 1200$ с.

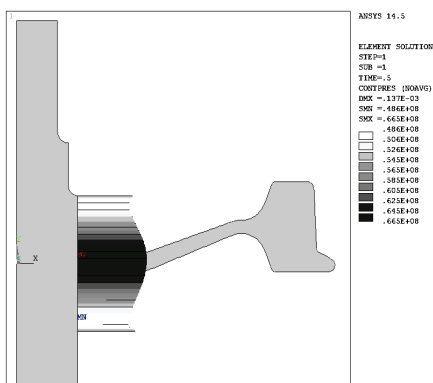


Рисунок 18 – Контактное давление при $t = 0,5$ с.

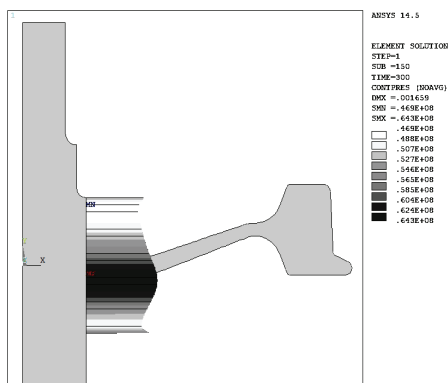


Рисунок 19 – Контактное давление при $t = 300$ с.

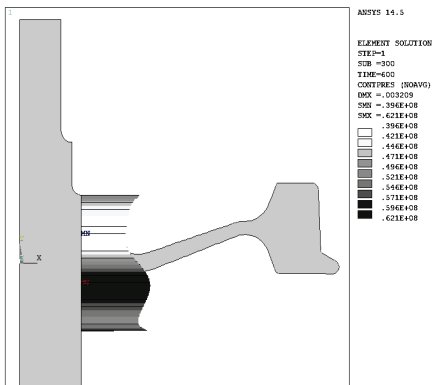


Рисунок 20 – Контактное давление при $t = 600$ с.

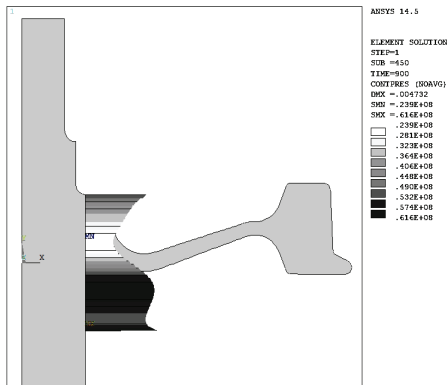


Рисунок 21 – Контактное давление при $t = 900$ с.

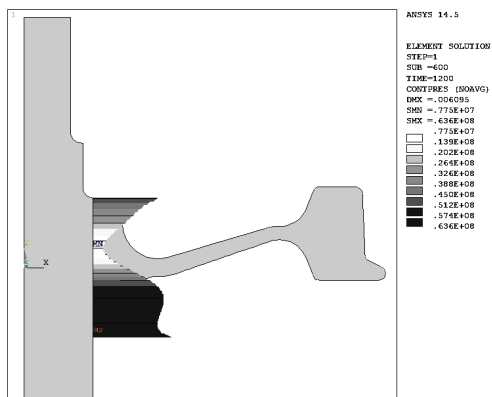


Рисунок 22 – Контактное давление при $t = 1200$ с.

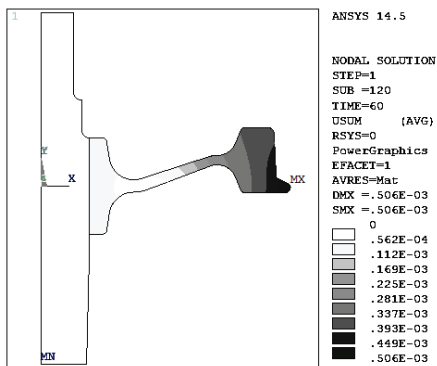


Рисунок 23 – Суммарные перемещения при $t = 60$ с.

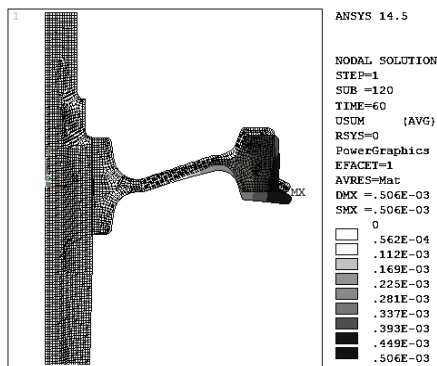


Рисунок 24 – Форма деформирования при $t = 60$ с.

Рассмотрим и проанализируем результаты соответствующие экстренному торможению грузового вагона. Для определения удельного теплового потока (1), сообщаемого колесу при торможении, предполагалось что масса вагона составляет 80 т, его скорость до начала торможения – 100 км/ч, а сам процесс торможения занимает 60 с. Исходя из этих данных значение удельного теплового потока составило 233723 Вт/м².

Ниже на рисунках представлены характеристики НДС колесной пары в момент времени $t = 60$ с (рис. 23-27). Распределение характеристик НДС в момент времени $t = 0,5$ с. аналогичное режиму длительного торможения, поэтому соответствующие рисунки ниже не приводятся.

При данном режиме торможения эффект с качественным перераспределением контактного давления в зоне натяга не наблюдается. В этом можно убедиться исходя из рис. 28-32.

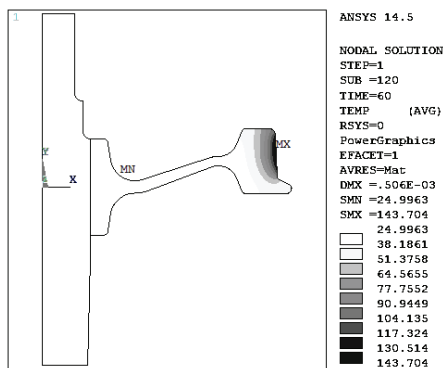


Рисунок 25 – Температурное поле при $t = 60$ с.

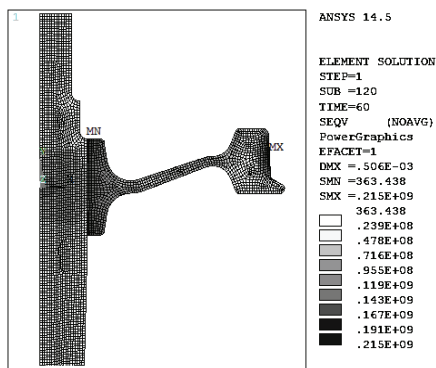


Рисунок 26 – Эквивалентные напряжения при $t = 60$ с.

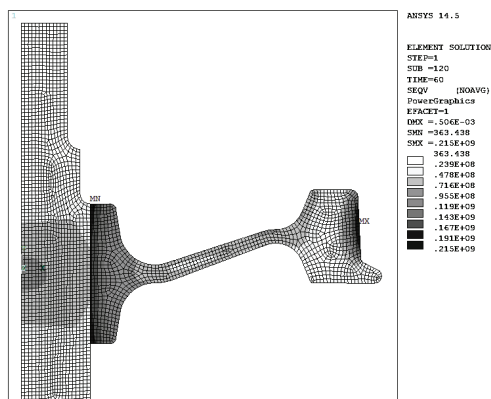


Рисунок 27 – Эквивалентные напряжения при $t = 60$ с.

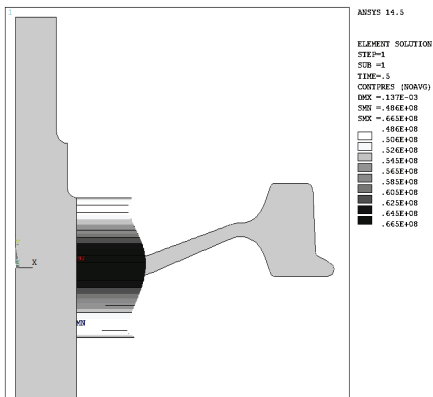


Рисунок 28 – Контактное давление при $t = 0,5$ с.

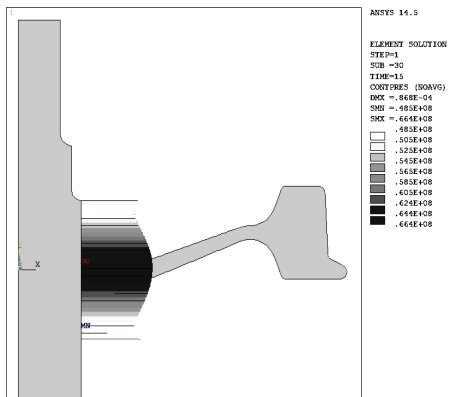


Рисунок 29 – Контактное давление при $t = 15$ с.

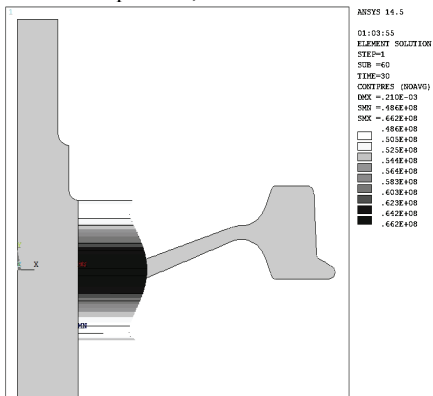


Рисунок 30 – Контактное давление при $t = 30$ с.

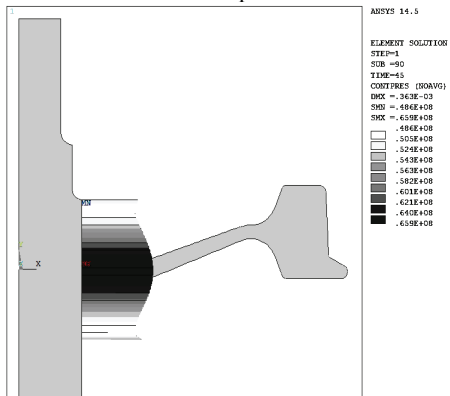


Рисунок 31 – Контактное давление при $t = 45$ с.

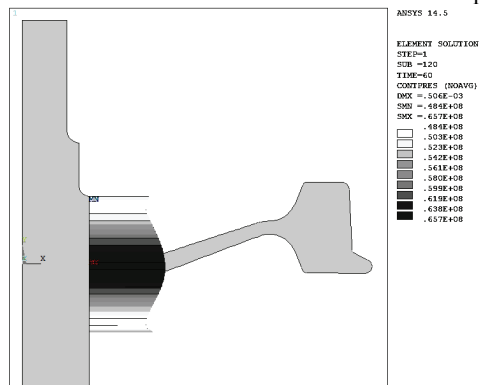


Рисунок 32 – Контактное давление при $t = 60$ с.

На основании результатов расчета экстренного режима торможения грузового вагона можно сделать вывод о том, что в этом случае максимальная температура поверхности катания колеса составила 143,7 °С, максимальные суммарные перемещения – 6,094 мм; максимальные эквивалентные напряжения – 215 МПа; максимальное контактное давление между колесом и осью – 65,7 МПа.

Таблица 2 – Максимальные значения характеристик НДС колесной пары

Режим торможения	Суммарные перемещения, мм	Температура, град.	Эквивалентные напряжения, МПа	Контактное давление, МПа
Экстренное	0,506	143,7	215	65,7
Длительное	6,094	564,4	1220	63,6

Выводы. Наиболее опасные значения характеристик НДС следует ожидать при длительном режиме торможения грузового вагона в момент времени $t = 1200$ с., тогда как минимальные характеристики НДС, соответствующие статическому положению колесной пары, будут наблюдаться в момент времени $t = 0,5$ с. Под опасными значениями характеристик НДС понимаются такие, которые могут отрицательно влиять на прочность колесной пары и надежность соединения с натягом между колесом и осью.

При длительном торможении грузового вагона в результате нагрева колеса максимальная температура была ожидаемо достигнута на поверхности катания и составила 564,43 °С. При этом, максимальные суммарные перемещения по сравнению с состоянием колесной пары до торможения выросли в 44,5 раза; максимальные эквивалентные напряжения – в 6,25 раз; снижение максимального контактного давления между колесом и осью составило 4,36 %.

При экстренном торможении грузового вагона в результате нагрева максимальная температура поверхности катания колеса составила 143,7 °С. При этом рост максимальных суммарных перемещений по сравнению с состоянием колесной пары до торможения составил 269 %; рост максимальных эквивалентных напряжений – 10,25 %; снижение максимального контактного давления между колесом и осью составило 1,2%.

При длительном торможении грузового вагона сильное понижение надежности соединения с натягом обусловлено не количественным изменением максимального значения контактного давления, а качественным перераспределением контактного давления по всей зоне натяга.

Список литературы: 1. Миронов А.А., Образцов В.Л. О взаимном нагреве колеса и буксового узла в процессе эксплуатации подвижного состава / Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 2. – С. 37-40. 2. Кузьмич Л. Д. Вагоны. – М.: Машиностроение, 1978. – 376 с. 3. Вершинский С. В. и др. Расчет вагонов на прочность : изд 2-е / Под ред. Л. А. Шадура. – М.: Машиностроение, 1971. – 432 с. 4. Басов К. А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

Надійшла до редколегії 15.06.2013

УДК 531

Исследование НДС колесной пары под влиянием температурных нагрузок возникающих при различных режимах торможения / Д.В.Данилов, А.Г.Андреев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 58 (1031). – С. 52-62. – Бібліогр.: 4 назв.

Розглянутий НДС колісної пари вагону під впливом температурних навантажень, які виникають при екстремному і тривалому режимах гальмування, засобами ПК ANSYS.

Ключові слова: колісна пара, цільнокатане колесо, вісь, напруження, переміщення, деформації, контактний тиск.

It is considered by the deflected mode of wheel pair the car under influence of the temperature loadings arising at emergency and long modes of braking, means of personal computer ANSYS.

Keywords: wheel pair, solid-rolled wheel, axis, stress, displacement, deformations, contact pressure.

УДК 531

Д.В.ДАНИЛОВ, студент, НТУ «ХПИ»;

А.Г.АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ

Рассмотрено НДС колесной пары вагона при движении по прямолинейным и криволинейным участкам пути с учетом влияния ветровой нагрузки средствами ПК ANSYS.

Ключевые слова: колесная пара, цельнокатаное колесо, ось, напряжения, перемещения, деформации, контактное давление.

Вступление. Колесные пары относятся к ходовым частям и являются одним из ответственных элементов вагона. Они предназначены для направления движения вагона по рельсовому пути и восприятия всех нагрузок, передающихся от вагона на рельсы при их вращении. Колесные пары, воспринимающие статическую и динамическую нагрузку, обеспечивают непосредственный контакт экипажа и пути и направляют подвижной состав в рельсовой колее, через них передается на рельсы нагрузка от вагона, а колесные пары жестко воспринимают все толчки и удары от неровностей пути.

Работая в современных режимах эксплуатации железных дорог и экстремальных условиях окружающей среды, колесная пара вагона должна удовлетворять следующим основным требованиям: обладать достаточной прочностью, имея при этом минимальную необрессоренную массу (с целью снижения тары подвижного состава и уменьшения непосредственного воздействия на рельсовый путь и элементы вагона при прохождении неровностей рельсовой колеи); обладать некоторой упругостью, обеспечивающей снижение уровня шума и смягчение толчков, возникающих при движении вагона по рельсовому пути; совместно с буксовыми узлами обеспечивать возможно меньшее сопротивление при движении вагона и возможно большее сопротивление износу элементов, подвергающихся изнашиванию в эксплуатации.

© Д. В. Данилов, А. Г. Андреев, 2013